استفاده از شبکه عصبی، شاخص پایداری خاکدانه‌ها و شکل‌های شیمیایی مس و روی در برآورد غلظت این عناصر در یک گیاه مرتعی

مریم مرعشی علی‌آبادی (نویسنده مسئول)[1*]، علی محمدی ترکاشوند[2]، عباس احمدی[3] و مهرداد اسفندیاری[4]

۱*- دانشجوی دکتری، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، mhmarashi@gmail.com

۲- دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران،m.torkashvand54@yahoo.com

۳- دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، a_ahmadi@tabrizu.ac.ir

۴- استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران،doddesfandiari@ gmail.com

تاریخ دریافت: مهر ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: آذر ۱۳۹۶

Using neural network, aggregate stability indices and chemical forms of copper and zinc in estimating the concentration of these elements in a rangeland plant

Maryam Marashi Aliabadi[*1], Ali Mohammadi Torkashvand[2], Abass Ahmadi[3] and Mehrdad Esfandyari[4]

1*- Ph.D. Student, Department of Soil Science, Agriculture and Natural resources college, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, mhmarashi@gmail.com

2- Associate Professor, Department of Soil Science, Agriculture and Natural resources college, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, m.torkashvand54@yahoo.com

3- Associate professor, Department of Soil Science, University of Tabriz, Tabriz, Iran, a_ahmadi@tabrizu.ac.ir

4- Assistant Professor, Department of Soil Science, Agriculture and Natural resources college, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, doddesfandiari@ gmail.com

*Corresponding author: Maryam Marashi Aliabadi

Received: September 2017 Accepted: November 2017

چکیده

مدیریت منابع خاک و گیاه با استفاده از روش‌های نوین، از جمله روش‌های هوش مصنوعی، در سال‌های اخیر به عنوان یکی از مهمترین راهکارهای کاهش هزینه‌های مدیریتی معرفی شده است. تحقیق حاضر تلاش دارد تا بتواند با استفاده از یکی از روش‌های شبکه عصبی، به پیش بینی مناسبی از وضعیت تغذیه‌ای دو عنصر مس و روی در گیاه شکر تیغال با استفاده از داده‌های شکل‌های شیمیایی عناصر مس و روی خاک و همچنین شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها، بپردازد. بدین منظور شکل‌های شیمیایی دو عنصر مس و روی و همچنین شاخص‌های میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها در ۳۴ نمونه خاک و غلظت روی و مس در گیاه شکر تیغال نزدیک به هر نمونه خاک مورد تجزیه قرارگرفته و در نهایت مدل‌سازی پرسپترون چند لایه با الگوریتم لونبرگ- مارکواردت با چهار ورودی مجزا در هر بخش انجام گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که مجموع دو شکل کربناتی و تبادلی به عنوان داده‌های ورودی دارای بیشترین ضریب تبیین و کمترین خطای استاندارد در پیش‌بینی غلظت روی گیاه بوده است. در طرف مقابل، مجموع شکل‌های تبادلی و کربناتی به همراه پایداری خاکدانه‌ها به عنوان ورودی، بهترین پیش‌بینی را از وضعیت مس در گیاه شکر تیغال دارا بود. برخلاف عنصر روی، ورود داده‌های فیزیکی خاک(شاخص‌های پایداری خاکدانه) توانست تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر پیش‌بینی وضعیت مس در گیاه بگذارد.

کلمات کلیدی: روی، شاخص پایداری خاکدانه، شبکه عصبی، شکر تیغال، مس.

فصلنامه زیست شناسی سلولی و مولکولی گیاهی

سال ۱۳۹۶، دوره ۱۲، شماره ۳، صص ۱۴-۵

Abstract

Soil and plant resource management has been introduced in recent years as one of the most important ways to reduce management costs using modern methods, including artificial intelligence techniques. The present study attempted to use the neural network method to predict the nutritional status of the two copper and zinc elements in the *Echinops* plant using the data of the chemical forms of the copper and zinc elements, as well as the stability indicators of the aggregates. For this purpose, the chemical forms of the two elements of copper and zinc, as well as the average of weight diameter and geometric mean diameter of aggregates in 34 soil samples, and zinc and copper concentrations in the Echinops plant were analyzed for each soil sample and eventually Multilayer perceptron modeling was performed using Levenberg-Marquardt algorithm with four separate inputs in each section. The results showed that the sum of carbonate and exchangeable forms as the input data had the highest coefficient of variation and the lowest standard error in predicting Zn concentration of the plant. On the other hand, the total exchange and carbonate forms with the stability of aggregates as inputs had the best prediction of the copper status of the plant. Unlike zinc, soil physical data (aggregate stability indicators) could have a significant effect on predicting the state of copper in the plant.

Keywords: Aggregate stability indices, Artificial Neural Network, Copper, Rangland plant Zinc

فصلنامه زیست شناسی سلولی و مولکولی گیاهی

سال ۱۳۹۶، دوره ۱۲، شماره ۳، صص ۱۴-۵

مقدمه و کلیات

مدیریت منابع آب و خاک به‌منظور تولید و بهره‌وری حداکثر به همراه حفظ منابع آب و خاک و جلوگیری از تخریب، هدررفت و آلودگی منابع مذکور امری ضروری و مهم است(Okina *et al*., 2006). خاک به‌عنوان یکی از مهمترین منابع طبیعی ارزشمند در جهان به‌شمار می‌رود، که مدیریت پایدار در آن امری ضروری است، که تنها با حفظ و بقای چرخه‌ی زیستی این امر حاصل می‌شود. پایداری خاک، یک موضوع کلیدی در مدیریت منابع خاک می‌باشد که با هدف بالا بردن توان تولید پایدار منابع مورد توجه قرار می‌گیرد. پایداری خاکدانه‌ها در خاک، می‌تواند به صورت مستقیم بر بسیاری از ویژگی‌های خاک از جمله انتشار عناصر غذایی و وضعیت تغذیه ای عناصر برای گیاه تأثیرگذار باشد(Six and Paustian, 2014). وضعیت تغذیه‌ای گیاه به میزان زیادی به ساختمان خاک و خاکدانه‌های آن مرتبط است(Pulido Moncada *et al*., 2015). میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها(MWD) و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها(GMD) به عنوان دو شاخص مهم از فرسایش پذیری خاک و مقاومت خاک در برابر تنش های مکانیکی محسوب می‌شوند(Marashi *et al*., 2017). در طرف مقابل، بررسی وضعیت تغذیه‌ای عناصر برای هر گیاه می تواند متاثر از شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها و همچنین قابلیت دسترسی هر عنصر باشد. اندازه‌گیری غلظت کل عناصر کم مصرف در خاک، هرچند که می‌تواند اطلاعاتی در مورد غنی شدن احتمالی این عناصر در خاک بدهد، اما نمی‌تواند برای تخمین اثرات شیمیایی آنها مفید واقع شود، بلکه این شکل شیمیایی یک فلز در خاک است که تعیین کننده ظرفیت تحرک و رفتار آن فلز در خاک و جذب شده بوسیله گیاه باشند(Saffari *et al*., 2009). آگاهی از شکل‌ها، مقادیر، واکنش‌ها و حرکت عناصر کم مصرف در خاک، برای افزایش عملکرد محصولات زراعی و حفظ سلامتی بشر و دام لازم وضروری است. بررسی روابط بین شکل‌های شیمیایی عناصر با خصوصیات مهم فیزیکی خاک از جمله شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها، که می‌تواند تاثیر بسزایی بر میزان دسترسی عناصر بگذارد، می‌تواند در ارزیابی تغذیه گیاهان مرتعی بسیار مهم و قابل توجه باشد. شکرتیغال(Echinops) گیاه چند ساله ای است که علاوه بر مصرف دام به عنوان گیاه دارویی شناخته می شود. ارزش غذایی علوفه‌های مرتعی همچون شکر تیغال، به منظور مدیریت چرایی مراتع ضرورت دارد. امروزه تلاش بر این است از روش‌هایی که دارای بیش‌ترین دقت و کم-ترین هزینه در زمان کوتاه‌تری هستند به منظور پیش بینی دادهای دیریافت و سخت یافت، استفاده شود. در دهه های اخیر، استفاده از روش‌های مدل سازی از جمله روش‌های مختلف شبکه‌های عصبی، توسعه فراوانی برای پیش بینی خصوصیات مختلف پیدا کرده‌اند(Esalatpour *et a*l., 2013). با توجه به مقدمه گفته شده، تحقیق حاضر تلاش دارد تا بتواند با داشتن دو خصوصیت شیمیایی(شکل‌های شیمیایی عناصر مس و روی) و فیزیکی(GMD و MWD) خاک به پیش بینی مشخصی از وضعیت تغذیه‌ای دو عنصر مس و روی گیاه شکر تیغال، به عنوان یک گیاه مرتعی مهم در استان آذربایجان شرقی، با استفاده از روش شبکه عصبی پرسپترون چند لایه بپردازد.

فرآیند پژوهش

منطقه مورد مطالعه و نمونه‌برداری خاک و گیاه: استان آذربایجان شرقی که جزو مناطق نیمه‌خشک کشور بوده و از لحاظ وضعیت آب و هوایی و

پدولوژیکی و پوشش گیاهی پتانسیل زیادی برای تغییرات پایداری خاکدانه‌ها دارد، برای انجام تحقیق انتخاب شد. استان آذربایجان شرقی با ۴۵/۴۸۱ کیلومتر مربع مساحت، حدود ۲/۸ درصد از وسعت کل ایران را به خود اختصاص داده است. این استان در شمال غرب کشور و بین مدارهای ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۹ درجه و۲۶ دقیقه عرض شمالی و نصف‌النهارهای ۴۵ درجه و ۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و۲۲ دقیقه طول شرقی جای گرفته است. آب و هوای آذربایجان شرقی به طور کلی سرد و خشک است ولی به علت تنوع توپوگرافیکی از اقلیم‌های متفاوتی برخوردار است. میانگین بارندگی سالیانه ۲۵۰ الی ۳۰۰ میلیمترمی باشد. با بررسی نقشه خاک استان آذربایجان‌شرقی و گزارش‌های مطالعات خاکشناسی موجود، ۳۴ منطقه با خصوصیات متفاوت خاک انتخاب گردیدند. نمونه برداری خاک و گیاه شکر تیغال انجام گرفت. نمونه‌های خاک به آزمایشگاه انتقال یافتند و بعد از هوا خشک کردن از الک ۴/۷۵ میلی‌متر عبور داده وبرخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اندازه گیری شدند(Swift and Sparks, 1996) که آمار توصیفی ۳۶ نمونه خاک در جدول ۱ قابل مشاهده است. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها(MWD) با الک تر و همچنین الک خشک نمونه‌ها و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها(GMD) با الک مرطوب به روش Nimmo and Perkins, 2002 با انجام تصحیح شن همراه تعیین شدند.

جدول ۱: مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف استاندارد(SD)، ضریب تغییرات(CV)، چولگی و کشیدگی برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد آزمایش

Table 1: Minimum, Maximum, Mean, Standard Deviation (SD), Coefficient of variation(CV), Skewness and Kurtosis of some of the physical and chemical properties of the tested soils

	pH	CEC	OM	Clay	GMD	MWD	Splash Erosion
		($cmol_{(+)}\ kg^{-1}$)	(%)	(%)	(mm)	(mm)	$gr/30min\ cm^{-2}$
حداقل	۶/۸۱	۶/۸	۸	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۴۶	۰/۰۱
حداکثر	۸/۳	۵۹/۹	۵۰	۴/۳۸	۱/۱۸	۱/۰۱	۰/۳۳
میانگین	۷/۷۶	۲۲/۵۴	۲۴	۱/۷۱	۰/۲۷	۰/۶	۰/۱۵
SD	۰/۳۵	۱۲/۹	۰/۱۱	۱/۳۸	۰/۳۰	۰/۱۵	۰/۱۰
CV (%)	۰/۰۴۵	۰/۵۷۰	۰/۴۸	۰/۸	۱/۱۰	۰/۲۶	۰/۶۸
چولگی	۴/۹۵	۱/۶۸	۰/۵	۰/۸۲	۱/۰۴	۰/۶	۰/۶۰
کشیدگی	۲/۴۶۱۱/۲۶		۱/۸۲-۰/۰۸۷	-۰/۵۲	۱/۰۵		۴/۲۳

اندازه‌گیری شکل‌های شمیایی مس و روی: نمونه‌ها خاک‌های آماده شده بوسیله روش عصاره‌گیری دنباله‌ای Singh *et al.*, 1988 جهت جداسازی شکل‌های مختلف روی و مس مورد آزمایش قرار گرفت. خلاصه مراحل عصاره‌گیری دنباله ای Singh *et al.*, 1988 در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: مراحل مختلف عصاره‌گیری دنباله‌ای، شکل‌های شیمیایی قابل جداسازی و عصاره‌گیرهای مورد استفاده در روش **Singh *et al.*, 1988**

Table 2: Different stages of sequential extraction, chemical forms, and extractants used in Singh *et al.*, 1988 method

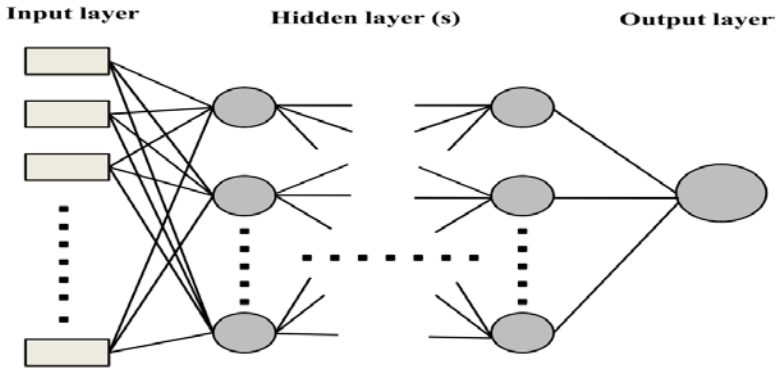
مرحله عصاره‌گیری	شکل شیمیایی استخراج شده	نسبت خاک به عصاره گیر	زمان رسیدن به تعادل	غلظت عصاره‌گیر (مولار)
۱	تبادلی(Ex)	۱۰: ۲/۵	۲ ساعت	1M $Mg(NO_3)_2$
۲	کربناتی(Car)	۱۰: ۲/۵	۵ ساعت	1M NaOAc pH=5
۳	*آلی(Om)	۵: ۲/۵	۳۰ دقیقه	0.7 M NaOCl pH = 8.5
۴	همراه با اکسیدها ی منگنز(OX Mn)	۲۵: ۲/۵	۳۰ دقیقه	0.1M NH_2OH. HCl pH=2
۵	همراه با اکسیدهای آهن بی شکل(OX Fe)	۲۵: ۲/۵	۳۰ دقیقه	0.25M NH_2OH . HCl 0.25M HCl
۶	همراه با اکسیدهای آهن متبلور(OXC Fe)	۲۵: ۲/۵	۳۰ دقیقه	0.2M (NH_4)$_2$ C_2O_4, 0.2M $H_2C_2O_4$ + 0.1M اسید آسکوربیک
۷	** باقی مانده(Res)	----	----	HF, $HClO_4$, HNO_3, H_2SO_4

* دو مرتبه عصاره‌گیری می‌شود

** اختلاف بین غلظت کل روی یا مس و جمع غلظت روی یا مس در سایر شکل‌ها

مقادیر مس و روی: نمونه گیاهان شکرتیغال برداشت شده از نقاط نزدیک به نمونه‌های خاک، به منظور بررسی مقادیر مس و روی آن به آزمایشگاه منتقل شدند. بدین منظور اندام هوایی گیاه که از محل طوقه برداشت شده، در آون و در دمای ۶۵ درجه سلسیوس خشک، سپس توزین و با آسیاب برقی پودر شد. سپس یک گرم ماده خشک گیاهی در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس خاکستر شد. خاکستر حاصل در ۵ میلی لیتر اسید کلریدریک ۲ مولار حل و پس از شست و شو با آب مقطر داغ و صاف کردن با کاغذ صافی، حجم نهایی محلول با استفاده از آب مقطر به ۵۰ میلی لیتر رسانده شد. روی و مس بوسیله دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شد (Johnson and Ulrich, 1959).

مدل‌سازی مقادیر روی و مس در گیاه شکرتیغال با روش شبکه عصبی پرسپترون چندلایه: در این بخش از مدل‌سازی پرسپترون چند لایه با الگوریتم لونبرگ- مارکواردت استفاده شد. پرسپترون چند لایه بر اساس توابع سیگموئیدی و لایه پنهان انجام گرفت. در این روش، می‌توان یک یا چند لایه پنهان استفاده نمود. ساختار اصلی پرسپترون چند لایه را در شکل۱ مشاهده می‌شود.



شکل۱: ساختار کلی از روش شبکه عصبی پرسپترون چند لایه

Fig 1: General structure of multilayer perceptron neural network method

پرسپترون چندلایه می‌تواند بیشتر از یک لایه پنهان داشته باشد، هر چند که مطالعات مختلف نشان داده است که یک لایه پنهان می‌تواند مناسب برای پیش بینی توابع غیر خطی پیچیده باشد(Kisi, 2004). در ابتدای این مطالعه مربوط به این مدل، تعداد لایه پنهان مناسب و اپوک‌ها بوسیله سعی و خطا انجام شد، و در نهایت لایه پنهان بصورت تک لایه و ۱۰۰۰ اپوک استفاده شد. به منظور بررسی کارایی و دقت مدل‌های از برخی شاخص‌های آماری نظیر ضریب تبیین(R2) و میانگین مربعات خطا(Mean square error) استفاده گردید.

نتایج و بحث

توصیف متغیرهای مورد مطالعه: مجموعه داده‌های مربوط به یک جامعه در صورتی که مرتب شوند حاوی اطلاعات مفید و ارزشمند هستند. از طرف دیگر برای هر مطالعه یا محاسبه آماری بایستی داده-های آزمایشی حاوی اعداد خام به شکل خاص منظم شوند. تنظیم داده‌های عددی در جداول و ترسیم نمودارهای توزیع فراوانی از اولین مراحل تجزیه

آماری است. وضعیت توزیع داده‌ها برای مطالعات آماری از جمله مدل‌سازی با شبکه عصبی از اهمیت زیادی برخوردار است. از جمله این ویژگی‌ها حداکثر، حداقل، میانگین، دامنه تغییرات، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی است. توصیف آماری برخی از پارامترهای شیمیایی و فیزیکی ۳۶ خاک مورد مطالعه را در جدول ۱ مشاهده می کنید. همانگونه که مشاهده می‌شود، خاک‌های مورد مطالعه ۷/۷۶، و حداقل ۶/۸۱ و دارای میانگین پ‌هاش حداکثر ۸/۳ می‌باشند که نشان از قلیایی بودن خاک های منطقه دارد. ظرفیت تبادلی کاتیونی خاک های مورد تحقیق به طور میانگین۲۲/۵۴ سانتی مول بار مثبت بر کیلوگرم با حداقل ۶/۸ و حداکثر ۵۹/۹۰ مشاهده شد. فراوانی ماده آلی در خاک‌های منطقه به طور میانگین در حدود ۱/۷۱ می‌باشد که در مقایسه با خاک های خشک و نیمه خشک ایران دارای متوسط دارای حداقل MWDنسبتا بالایی می باشد شاخص ۰/۰۵ و حداکثر ۱/۱۸ و میانگین ۰/۲۷ بدست آمد. دارای GMDهمچنین مقادیر بدست آمده از شاخص حداقل ۰/۴۶ و حداکثر ۱/۰۱ و میانگین ۰/۶ مباشند. بالاتر بودن این دو شاخص نشان از پایداری بیشتر خاک در برابر فرسایش و درنتیجه، بهبود وضعیت عناصر در خاک می‌باشد. همچنین به منظور ارزیابی و در شبکه MWD و GMDاثر بخشی دو پارامتر عصبی نیاز است داده‌های مذکور از فراوانی نرمالی برخوردار باشند. مقادیر بدست آمده از چولگی و کشیدگی در جدول مذکور به منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند(چولگی و کشیدگی در بازه ۲ و۲-).

شکل‌های شیمیایی روی و مس در خاک: **جدول ۳ حداکثر، حداقل و میانگین شکل‌های مختلف روی در نمونه‌های خاک منطقه نمایش داده شده است. همچنین شکل۲ درصد نسبی شکل‌های مختلف روی(مقدار هر شکل تقسیم بر جمع شکل‌های روی ضربدر ۱۰۰) را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می شود به صورت میانگین و درصد نسبی، شکل باقی مانده روی بیشترین مقدار و درصد نسبی را به خود اختصاص داده است. گزارشات انجام شده بوسیله Saffari *et al*., 2016 و Moazallahi *et al*., 2017 نشان می‌دهد که شکل باقی مانده، مقاومترین شکل از هر عنصر کم مصرف می باشد که قابلیت دسترسی بسیار پایینی برای آبشویی و دسترسی برای گیاه دارد. لذا می‌توان گفت وجود روی بیشتر در این شکل، مقاومت روی به آبشویی را در این خاک‌ها نشان می‌دهد. پس از شکل باقی مانده، شکل‌های کربناتی، شکل روی متصل به اکسیدهای آهن کریستالی، شکل آلی روی، روی متصل به اکسیدهای آهن بی شکل، شکل روی متصل به منگنز و شکل محلول و شکل تبادلی، به ترتیب بیشترین به کمترین شکل از روی را به خود اختصاص داده اند. گزارشات گذشته از بررسی شکل‌های شیمیایی روی در مناطق مختلف ایران از خاک‌های آهکی نیز دلالت بر برتری شکل باقی مانده و حداقل بودن مقدار شکل تبادلی روی دارد(Saffari *et al*., 2009). گزارشات قبلی نشان میدهد که دو شکل تبادلی و کربناتی دو شکل قابل دسترس برای گیاه می باشند که بیشترین همبستگی را با روی گیاه دارا می‌باشند. بنابراین به منظور مدل‌سازی و پیش بینی مقادیر در درون گیاه، علاوه**

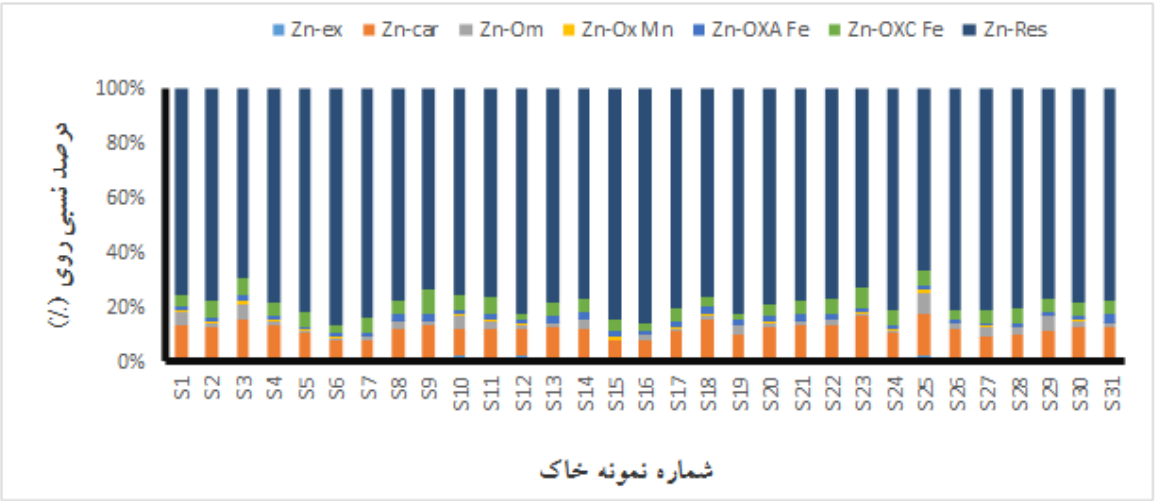
بر همه شکل‌های شیمیایی روی، دو شکل کربناتی و تبادلی نیز جداگانه نیز تاثیرپذیریشان بر میزان روی درون گیاه، مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.

جدول ۳: مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف استاندارد(SD)، ضریب تغییرات(CV)، چولگی و کشیدگی شکل‌های شیمیایی روی و غلظت روی در گیاه شکرتیغال

Table 3: Minimum, Maximum, Mean, Standard Deviation(SD), Coefficient of variation(CV), Skewness and Kurtosis of chemical forms of zinc and zinc concentration in *Echinops* persicus plant

Zn-plant	Zn-Res	Zn-OXC Fe	Zn-OXA Fe	Zn-OX Mn	Zn-Om	Zn-Car	Zn-Ex	
میلی گرم بر کیلوگرم								
۲۳/۷	۵۷/۸	۲/۷	۱/۱	۰/۱	۰/۷	۹/۲	۰	حداقل
۶۲/۱	۱۳۱/۴	۷/۶	۳/۲	۱/۵	۷/۸	۱۵	۲/۰۲	حداکثر
۴۰/۱۴	۸۸/۶۰	۵/۱۴	۱/۹۹	۰/۵۳	۲/۴۵	۱۱/۷۴	۰/۶۲	میانگین

مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین و همچنین درصد نسبی از شکل‌های شمیایی مس به ترتیب در جدول ۴ و شکل۳ نمایش داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود، به مانند شکل‌های شمیایی روی، بیشترین شکل از مس به صورت شکل باقی مانده است. پس از آن شکل های مس متصل به اکسیدهای آهن کریستالی، کربناتی، متصل به اکسید آهن بی شکل، شکل آلی، شکل متصل به اکسیدهای منگنز و شکل تبادلی، بیشترین به کمترین شکل از مس را در خاک‌های مورد پژوهش به خود اختصاص دادند. Jalali and Khanlari, 2008 در خاک‌های غیر آلوده و آلوده شده به مس نشان دادند که بیشترین شکل از مس در بخش تتمه وجود دارد. Li *et al*., 2009 نشان دادند که حدود ۹۰ درصد از مس در خاک های آلوده به مس به صورت تتمه می باشند. به مانند شکل‌های شیمیایی روی که در بخش گذشته توضیح داده شد، به منظور مدل‌سازی و پیش بینی مقادیر در درون گیاه، علاوه بر همه شکل‌های شیمیایی مس، دو شکل کربناتی و تبادلی نیز جداگانه تاثیرپذیریشان بر مس درون گیاهی مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.



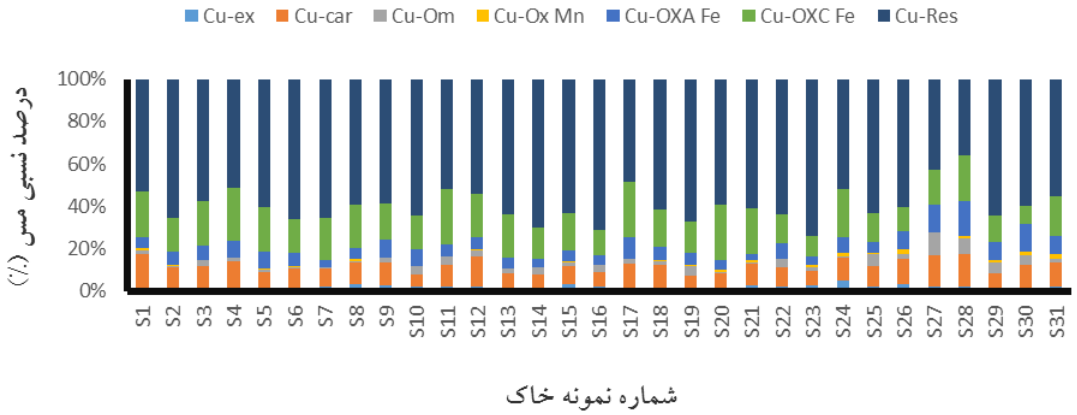
شکل ۲: درصد نسبی شکل‌های شیمیایی روی در خاک‌های مورد مطالعه

Fig 2: Relative percentage of zinc chemical forms in the studied soils

جدول ۴: مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف استاندارد(SD)، ضریب تغییرات(CV)، چولگی و کشیدگی برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک های مورد آزمایش شکرتیغال

Table 4: Minimum, Maximum, Mean, Standard Deviation (SD), Coefficient of variation (CV), Skewness and Kurtosis of chemical forms of copper and copper concentration in *Echinops* persicus plant

	Cu-Ex	Cu –Car	Cu-Om	Cu-OX Mn	Cu-OXA Fe	Cu-OXC Fe	Cu-Res	Cu-plant
	میلی گرم بر کیلوگرم							
حداقل	۰/۱	۲/۹	۰/۲	۰	۱/۳	۴/۹	۱۴/۸	۱۴/۶
حداکثر	۲/۱	۷/۱	۴/۲	۱/۱	۷/۲	۱۴/۷	۵۰/۳	۲۹/۲
میانگین	۰/۹۷	۵/۰۱	۱/۴۹	۰/۳۱	۳/۶۱	۹/۲	۳۱/۶	۱۹/۹۲

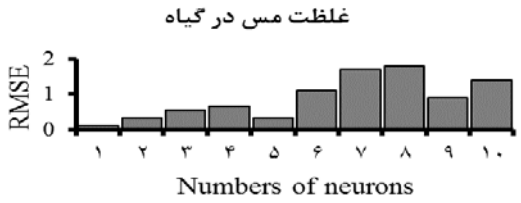


شکل ۳: درصد نسبی شکل‌های شیمیایی مس در خاک‌های مورد مطالعه

Fig 3: Relative percentage of copper chemical forms in the studied soils

مقادیر روی و مس در گیاه: جداول ۳ و ۴ به ترتیب مقادیر روی و مس در درون گیاه شکر تیغال را نشان می دهند. به طور میانگین وضعیت گیاه از نظر مقدار روی(۴۰/۴ میلی گرم بر کیلوگرم) در مقایسه با مس(۱۹/۹۲ میلی گرم بر کیلوگرم) در درون این گیاه، دو برابر بود. حد مناسبی از میزان این عناصر به منظور رشد بهینه در منابع آورده نشده است، اما به طور کلی میتوان بیان کرد که وجود مقادیر ۲۵ تا ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم از عنصر روی، ۱۰ تا ۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم از عنصر مس، حد بهینه از این عناصر در درون گیاه می باشد. بررسی وضعیت مقادیری از عناصر میتواند در کیفیت علوفه دام موثر باشد(ارزانی و همکاران، ۱۳۹۲). بطور مثال بالا بودن مولیبدن و پایین بودن مس در گیاه می تواند سبب بیماری مولیبدنسیس در حیوانات شده که، نشان از اهمیت ویژه بررسی کیفیت تغذیه در گیاهان مرتعی مختلف دارد.

مدلسازی مقادیر مس و روی در گیاه شکر تیغال: در این بخش از تحقیق، از روش شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با الگوریتم لونبرگ- مارکواردت استفاده شد. پرسپترون چند لایه بر اساس توابع سیگموئیدی و لایه پنهان انجام گرفت. در این روش، می توان یک یا چند لایه پنهان استفاده نمود. در ابتدای این مطالعه مربوط به این مدل، تعداد لایه پنهان مناسب و پوک‌ها بوسیله سعی و خطا انجام شد، به این صورت که بین ۱ تا ۱۰ لایه پنهان داده‌های آموزش فیت و مقادیر ضریب تبیین و خطا محاسبه شد. همانگونه که در شکل ۵ نشان داده شده است، بطور مثال در شاخص مس اندازه گیری شده(داده P1)، لایه پنهان بصورت تک لایه کمترین میزان RMSE را دارا بود.



شکل ۴: مقادیر RMSE در پیش بینی غلظت مس بوسیله یک تا ۱۰ لایه پنهان

Fig 4: RMSE values for predicting copper concentration by one to ten hidden layers

همچنین افزایش میزان بیشتر از ۱۰۰۰ اپوک سبب کاهش کارایی پیش بینی و افزایش **RMSE** شده است. بنابراین در این بخش از مطالعه، از یک لایه پنهان و ۱۰۰۰ اپوک استفاده شد. داده‌های ورودی برای هر خروجی(میزان روی یا مس در داخل گیاه) به چهار صورت بودند. داده‌های اولیه شامل ۷ داده ورودی (شامل همه شکل‌های شیمیایی **P1**)، داده‌های ورودی دوم به صورت ۲ داده(شامل شکل‌های تبادلی و کربناتی هر عنصر**P2**)، داده‌های ورودی سوم به صورت ۹ داده (شامل همه شکل‌های شیمیایی به اضافه دو شاخص پایداری **GMD** و **P3- MWD**)، و داده های ورودی چهارم شامل ۴ داده(شامل شکل‌های کربناتی و تبادلی به اضافه دو شاخص پایداری **GMD** و **MWD – P4**).

جدول ۵: ارزیابی روش شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با استفاده از دیتاهای اولیه P1, P2 ,P3, P4 به منظور پیش بینی غلظت روی و مس در گیاه شکرتیغال

Table 5:. Evaluation of the multilayer perceptron neural network using primary data p1, p2, p3, p4 to estimate zinc and copper concentration in *echinops* persicus plant

داده های ورودی	روی		مس	
	R^2	RMSE	R^2	RMSE
P1	۰/۰۰۱۵	۱۴۳/۸۴	۰/۰۱۸	۱۵/۵۴
P2	۰/۵۵۶	۷۸/۰۲	۰/۲۳	۱۲/۸۷
P3	۰/۱۲۹	۳۴۵/۲۷	۰/۴۰	۲۸/۳۱
P4	۰/۲۵۹	۸۹/۱۲	۰/۴۷۴	۶/۹۸

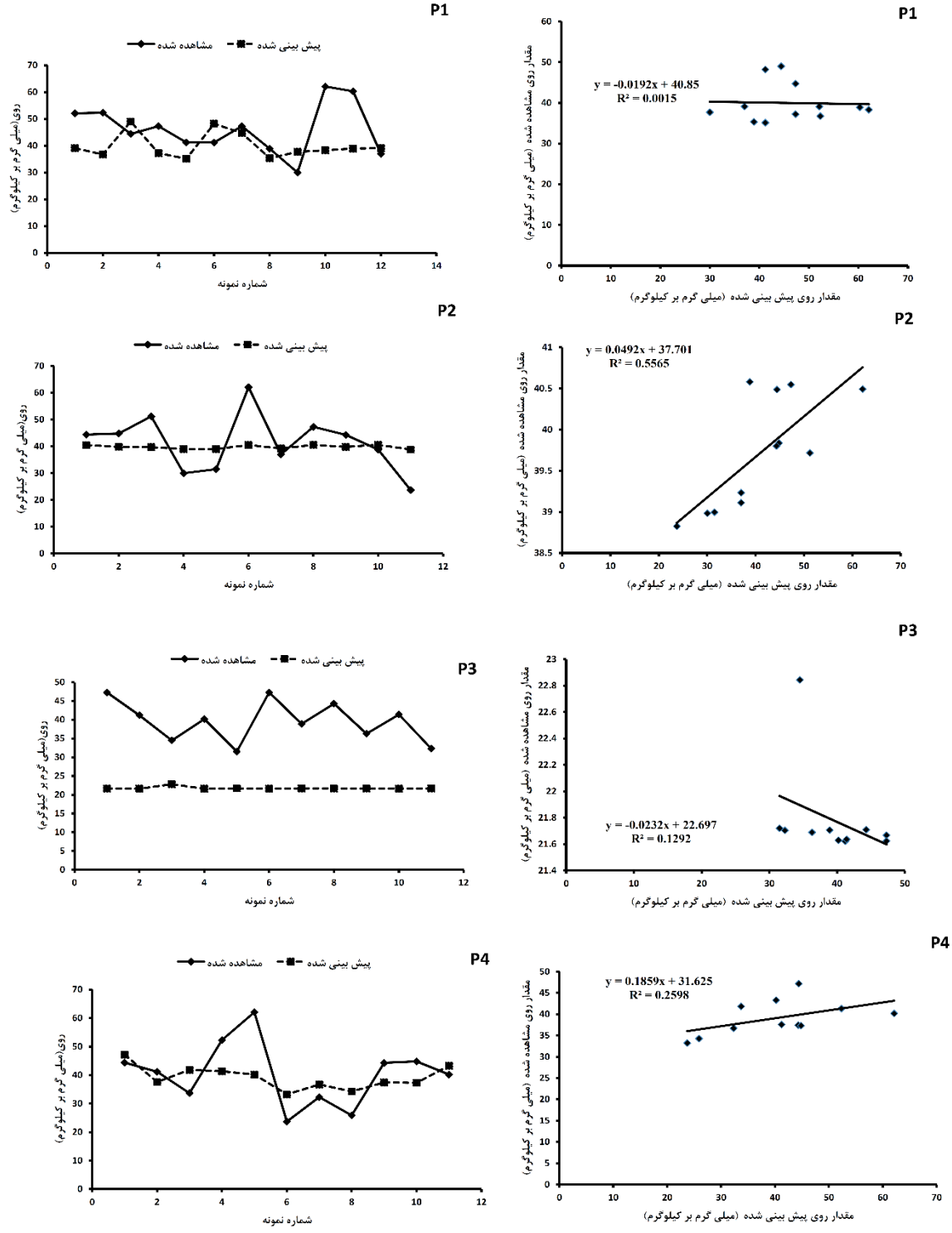
نتایج بدست آمده برای عنصر روی نشان می‌دهد که ورودی **P2** به عنوان داده‌های ورودی دارای ضریب تبیین بالاتر و خطای استاندارد کمتری بود(جدول ۵ و شکل ۵). کاربرد **P1** به عنوان داده ورودی که متشکل از تمام شکل‌های شیمیایی روی بوده است نتوانست به طرز مناسبی پیش بینی مناسبی از غلظت روی در گیاه داشته باشد. وجود شکل‌های شیمیایی غیر از شکل‌های تبادلی و کربناته که همبستگی مثبتی با غلظت روی در گیاه ندارند(صفاری و همکاران، ۲۰۰۹)، سبب شده است که مدل برازش شده نتواند بخوبی پیش بینی دقیقی از مقدار روی گیاه انجام دهد. کاربرد شاخص‌های پایداری خاکدانه هر چند توانست نسبت به داده‌های ورودی **P1** افزایش بسیار کمی از ضریب تبیین را به همراه بیاورد، اما کاربرد آن با داده‌های **P2** سبب کاهش ضریب تبیین و افزایش میانگین مربعات خطا شد. به طور کلی در مورد عنصر روی می‌توان بیان کرد که دو شکل کربناتی و تبادلی می‌توانند به عنوان داده‌های ورودی برای پیش بینی عنصر روی نسبت به سایر ورودی‌ها ارجحیت و با دقت بیشتری مدل سازی از میزان روی داخل گیاه را انجام دهند.

در طرف مقابل، ورودی های **P4** برای عنصر مس توانست بهترین پیش بینی را ار مقدار عنصر مس در گیاه شکر تیغال انجام دهد(جدول ۵ و شکل ۶).

کاربرد **P1** و **P2** به عنوان داده ورودی که به ترتیب متشکل از تمام شکل‌های شیمیایی و مجموع شکل کربناتی و تبادلی مس بوده است بوده است نتوانست به نحو مناسبی پیش بینی مناسبی از غلظت مس در گیاه داشته باشد. افزودن شاخص‌های پایداری خاکدانه(**GMD** و **MWD**) به شکل های شیمیایی مس توانست به نحو بسیار زیادی سبب افزایش ضریب تبیین گردد، به نحوی که کاربرد داده‌های **P3** که مجموع شکل های ۷ گانه شیمیایی مس و شاخص‌های پایداری خاکدانه می‌باشند، سبب افزایش چشمگیر ضریب تبیین نسبت به ورودی های **P1** شده است. اما، بهترین نتایج پیش بینی غلظت مس در گیاه، از کاربرد مجموع شکل‌های کربناتی و تبادلی با شاخص‌های پایداری خاکدانه بدست آمد که بیشترین ضریب تبیین و کترین میانگین مربعات خطا را دارا بود. بر خلاف عنصر روی، به نظر می‌رسد، شاخص‌های پایداری خاکدانه می‌تواند به نحو زیادی اثر گذاری قابل توجهی را بروی پیش بینی این عنصر در رون گیاه داشته باشد. رفتار عناصر کم مصرف در خاک وابستگی زیادی به خصوصیات فیزیکیو شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارد. شاخص‌های پایداری خاکدانه که به عنوان شاخص‌هایی در پیش بینی فرسایش خاک در نظر گرفته می‌شود(مرعشی و همکاران، ۲۰۱۷)، به نظر می‌رسد توانسته است بر رفتار تحرکی مس اثرگذاری خاصی را داشته باشد.

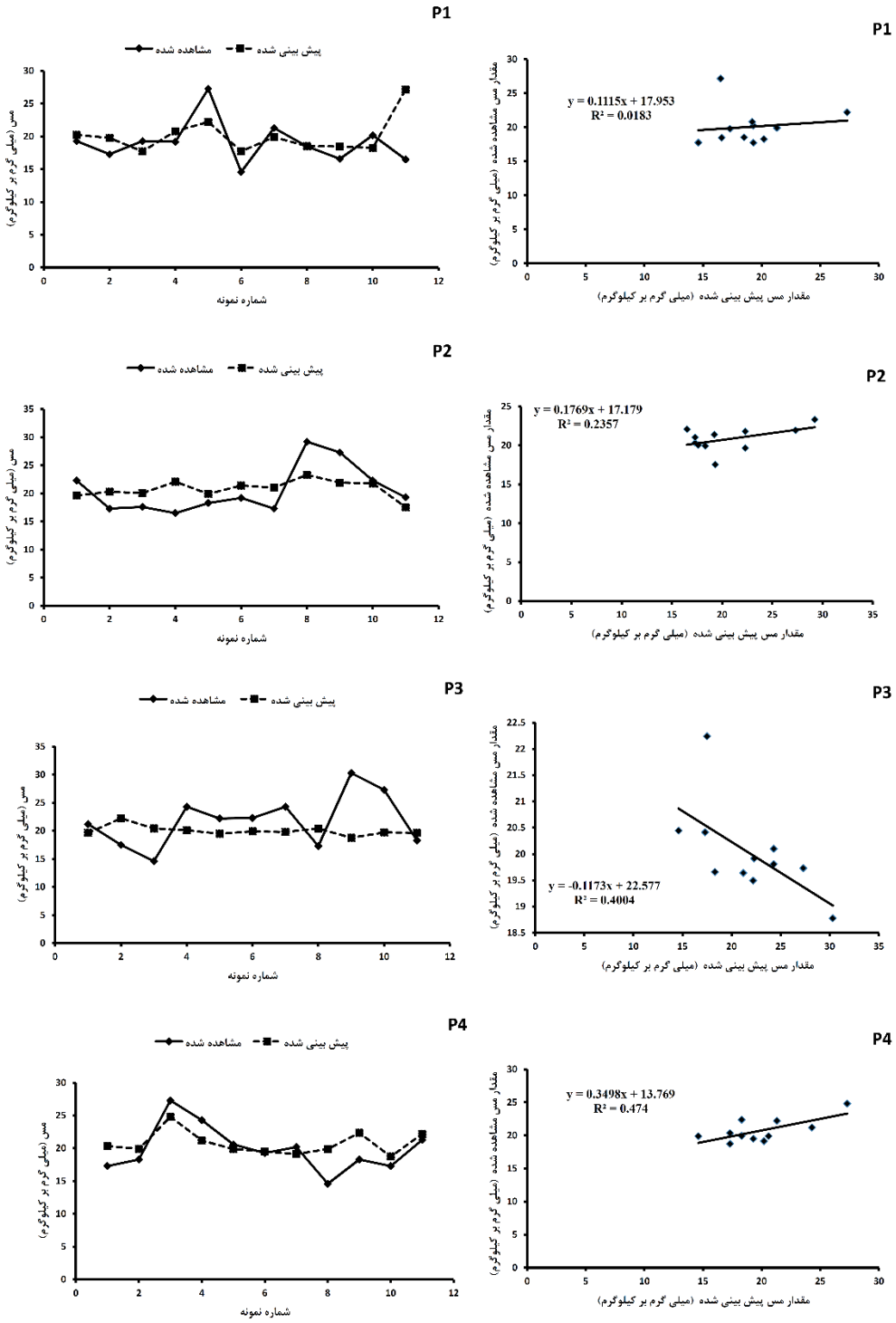
نتیجه‌گیری کلی

تحقیق حاضر تلاش داشت تا بتواند پیش بینی مناسبی از وضعیت تغذیه ای دو عنصر مس و روی در گیاه شکر تیغال را با استفاده از داده‌های شکل‌های شیمیایی عناصر مس و روی خاک و همچنین شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها(GMD و MWD)، با استفاده از یکی از روش های محاسباتی هوش مصنوعی(روش شبکه عصبی پرسپترون چند لایه)، داشته باشد. نتایج اولیه از بررسی شکل‌های شیمیایی روی و مس نشان داد که شکل باقیمانده و تبادلی به ترتیب بیشترین و کمترین بخش این دو عنصر را تشکیل داده‌اند. مدل‌سازی مقادیر مس و روی در گیاه شکر تیغال نشان داد که ۱ لایه پنهان داده‌های آموزشی مقادیر ضریب تبیین بالا و کمترین خطا را در بین ۱۰ لایه آموزشی دارا بود. نتایج بدست آمده به منظور پیش بینی عنصر روی در گیاه نشان داد که ورودی مجموع دو شکل کربناتی و تبادلی به عنوان داده های ورودی دارای ضریب بیشترین ضریب تبیین و کمترین خطای استاندارد بوده است. نتایج نشان داد که کاربرد شاخص‌های پایداری خاکدانه نتوانسته است به سبب پیش بینی بهتری از وضعیت روی در گیاه شود. در طرف مقابل، مجموع شکل‌های تبادلی و کربناتی به همراه کاربرد پایداری خاکدانه‌ها به عنوان ورودی، بهترین پیش بینی را وضعیت مس را در گیاه انجام داده است. برخلاف عنصر روی، ورود داده های فیزیکی خاک(شاخص‌های پایداری خاکدانه) توانسته است تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر پیش بینی وضعیت مس در گیاه بگذارد. همچنین می توان بیان کرد که دو شکل تبادلی و کربناتی، می‌توانند به عنوان مهمترین شاخص‌های پیش بینی وضعیت تغذیه‌ای گیاه معرفی شوند.



شکل ۵: مقایسه و رابطه بین مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده غلظت روی با استفاده از روش شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با استفاده از ورودی‌های مختلف(P1, P2, P3, P4).

Fig 5: Comparison and relationship between observed and predicted zinc concentrations using multi-layer perceptron neural network method using different inputs (P1, P2, P3, P4).



شکل ۶: مقایسه و رابطه بین مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده غلظت مس با استفاده از روش شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با استفاده از ورودی های مختلف(**P1, P2, P3, P4**).

Fig 6: Comparison and relationship between observed and predicted copper concentrations using multi-layer perceptron neural network method using different inputs (P1, P2, P3, P4).

منابع

۱. ارزانی، ح.، قاسمی‌آریان، ی.، معتمدی، ج.، فیله‌کش، ا.، و معمری، م. ۱۳۹۲. بررسی شاخص‌های کیفیت علوفه چند گونه مرتعی و مقایسه با حد بحرانی آن ها برای نیاز نگهداری واحد دامی چرا کننده در مراتع استپی سبزوار. خشک بوم. ۳(۱): ۱۳-۲۱

2. Besalatpour, A. A., Ayoubi, S., Hajabbasi, M. A., Mosaddeghi, M. and Schulin, R. 2013. Estimating wet soil aggregate stability from easily available properties in a highly mountainous watershed. *Catena*, 111, 72-79.
3. Johnson, C. M. and Ulrich, A. 1999. 2. Analytical methods for use in plant analysis. *Analytical methods for use in plant analysis.*
4. Lal, R. and Pierce, F. J. 1991. The vanishing resource. *IN: Soil Management for Sustainability. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa. 1991. p 1-5. 19 ref.*
5. Li, P., Wang, X., Allinson, G., Li, X. and Xiong, X. 2009. Risk assessment of heavy metals in soil previously irrigated with industrial wastewater in Shenyang, China. *Journal of Hazardous Materials*, 161(1), 516-521.
6. Marashi, M., Torkashvand, M. A., Ahmadi, A. and Esfandyari, M. 2017. Estimation of soil aggregate stability indices using artificial neural network and multiple linear regression models. *Spanish Journal of Soil Science*, 7(2), 122-132.
7. Moazallahi, M., Baghernejad, M., Jafari Haghighi, M. and Saffari, M. 2017. Stabilization of lead in two artificial contaminated calcareous soils using stabilized nanoscale zero-valent iron particles with/without chelating agents. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63(4), 565-577.
8. Nimmo, J. R. and Perkins, K. S. 2002. Aggregate stability and size distribution. *Methods of soil analysis: part*, *4*, 317-328.
9. Okin, G. S., Gillette, D. A. and Herrick, J. E. 2006. Multi-scale controls on and consequences of aeolian processes in landscape change in arid and semi-arid environments. *Journal of Arid Environments*, 65(2), 253-275.
10. Pulido Moncada, M., Gabriels, D., Cornelis, W. and Lobo, D. 2015. Comparing aggregate stability tests for soil physical quality indicators. *Land Degradation & Development*, 26(8), 843-852.
11. Raisbeck, M. F., Siemion, R. S. and Smith, M. A. 2006. Modest copper supplementation blocks molybdenosis in cattle. *Journal of veterinary diagnostic investigation*, *18*(6), 566-572.
12. Saffari, M., Karimian, N., Ronaghi, A., Yasrebi, J. and Ghasemi-Fasaei, R. 2016. Stabilization of lead as affected by various amendments and incubation time in a calcareous soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62(3), 317-337.
13. Saffari, M., Yasrebi, J., Karimian, N. and Shan, X. 2009. Effect of calcium carbonate removal on the chemical forms of zinc in calcareous soils by three sequential extraction methods. *Research Journal of Biological Sciences*, 4(7), 858-865.
14. Singh, J. P., Karwasra, S. P. S. and Singh, M. 1988. Distribution and forms of copper, iron, manganese, and zinc in calcareous soils of india. *Soil Science*, 146(5), 359-366.
15. Six, J. and Paustian, K. 2014. Aggregate-associated soil organic matter as an ecosystem property and a measurement tool. *Soil Biology and Biochemistry*, *68*, A4-A9.
16. Swift, R. S. and Sparks, D. L. 1996. Methods of soil analysis: Part 3. Chemical methods. Soil Science Society of America Book Series, 5, 1018-1020.